

CT撮影における各臓器の医療被曝量の測定と被曝量低減効果の検討

山下 一太

徳島大学大学院 運動機能外科学 講師
(助成時：徳島大学大学院 運動機能外科学 大学院生)

【ポスター1】

私は脊椎外科医です。整形外科医で、主に脊椎を専門としている人間で、普段はずっと臨床をしています。この被曝については、私は放射線科医ではありませんし、そんなに詳しくありませんでした。しかし、バックグラウンドとして放射線…特にエックス線を使う治療は今、非常に検査で大事なのですが、自分自身の手の被曝が、職業被曝としてどれくらい浴びているかという心配があり、実際に労

災も起こっていました。そういうところから自分の手の被曝量、体の被曝量ということから始めて、次に患者さんの被曝量は一体どれくらいなのかというところを研究しました。

特にエックス線だけではなく、CTは、周知のごとく非常に簡単に撮影できて、得られる情報は非常に多く、現代医学にももちろん不可欠なデバイスです。最近20年間で患者の累積被曝量は700%増加しています。つまり年間12%の割合で増加し続けているということですが、主な原因としてはCTだと言われております。

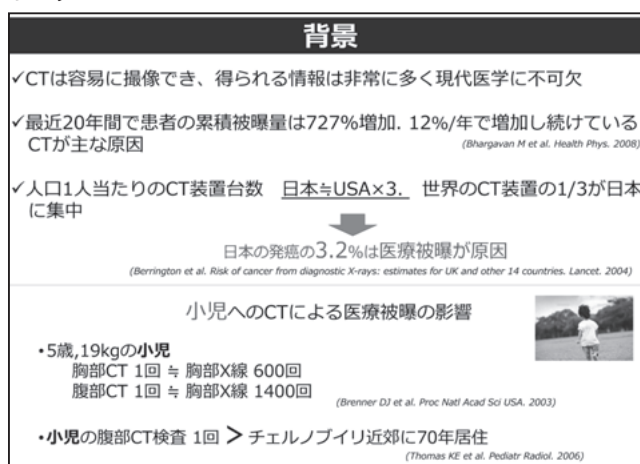
これはLancetに報告されているのですが、特に日本において被曝量が非常に多く、怖いデータです。1人当たりのCTの設置台数は日本はアメリカの3倍です。また世界のCT装置のおよそ3分の1が日本に集中しているという現状です。そして、日本の発癌の3.2%は診断目的の医療被曝が原因だということが報告されています。

特に小児に対しては医療被曝の影響は非常に甚大です。例えば5歳で19kgの小児であれば、胸部CTを1回撮れば、胸のエックス線の撮影の600回に相当する。腹部のCTを1回撮れば、1400回分の被曝量に相当することが分かっております。これも恐ろしいデータではありますが、小児の腹部CTを1回、例えば救急でぱっと撮ることはあると思うのですけれども、それはチェルノブイリ近郊に70年間居住するのと同じぐらいの被曝量を各臓器に与えていることが分かっています。

【ポスター2】

これまでこのようなことが危惧されておりましたので、CTによる医療被曝量の測定方法は、さまざまな研究がなされておりました。

ポスター1



従来の方法ではCTDIというのを用いました。アクリル樹脂の中に水をたっぷりに入れ、その中心部と辺縁部に放射線の線量計を設置して、このような複雑な積分線量の式を用いて測定する。つまりこれは計測ではなくて仮想値です。もちろん患者さんで実際の計測はできませんから、このようなファントム…模型を用いた仮想の計測にすぎない。つまり各臓器の真の被曝量というのは、これまで全く分からないまま治療がなされているのが現状でありました。

【ポスター3】

私の研究の目的は、CTの撮影による人体の各臓器の医療被曝量を正確に測定して検証すること、そして、CTの撮影時に撮影範囲を最小限に制限すること、撮影範囲以外の放射線感受性の高い臓器…つまり甲状腺とか水晶体とかといったところ…に保護具を着用することによって医療被曝量がどれくらい低減するかを検討することです。

【ポスター4】

対象と方法ですが、徳島大学にはクリニカルアナトミー教育・研究センターという、ご遺体がFresh cadaverといってホルマリン固定されていない新鮮凍結遺体というのを備えています。そのご遺体を用いさせていただきました。ご遺体は計7体用いました。これは倫理委員会で承認済みです。男性が4体で女性が3体。身長、体重、BMIはこのようでした。


そのようなご遺体に対して、非常に小さいnanoDotというOSL線量計というものを用いました。1cm×1cm、幅が2mm程度。非常に小さい小型の線量計です。これは低線量でも

ポスター 2

CTによる医療被曝量の測定方法 (従来法)


CTDI(mGy)=f・1/n・T・積分線量(R)・k
 f: 吸収線量変換係数=0.00656(Gy/R)
 (実効エネルギー=50keV, 対象物質アクリルの場合)
 n: 生成される画像数
 T: スライス厚の設定値 (cm)
 k: 大気補正係数

CTDIw(mGy)=1/3×中心のCTDI+2/3×辺縁のCTDI の平均



アクリル樹脂の中に水を注入したファントム


>ファントムによる仮想の計測に過ぎない
 >各臓器の真の被曝量は不明



ポスター 3

目的

- ✓ CT撮影による人体の**各臓器の医療被曝量を正確に測定し検証**すること
- ✓ CT撮影時に
 - ① 撮影範囲を最小限に制限すること
 - ② 撮影範囲以外の放射線感受性の高い臓器に保護具を使用することによる**医療被曝量の低減効果**を検証すること




ポスター 4

対象と方法

新鮮未固定遺体 7体 (徳島大学病院倫理委員会で承認済)



男性 4体	身長 158.9 cm
女性 3体	体重 51.6 kg
BMI 20.4	




徳島大学病院
クリニカルアナトミー教育・研究センター

Optically Stimulated Luminescence (OSL) 線量計 nanoDotTM (長野・Landauer社製)

- (1) 小型薄型 (10×10×2 mm³)
- (2) 低線量も正確に計測可
- (3) 画質に影響を与えない
- (4) ほぼ360°全周性に検知可能

未固定遺体の各臓器に線量計を埋没設置



甲状腺に埋没設置の様子

正確に測定が可能なもので、画質に全く影響を与えません。そして360度どの方向から放射線を浴びてもきちんと測定ができるという優れたものです。それをご遺体に埋没しました。

右下の写真は甲状腺の位置に埋没している様子です。ここが喉の部分です。

実際には大脳、水晶体、甲状腺、肺、乳頭部の皮膚、肝臓、腎臓、大腸、小腸、皮膚の臍の部分、そして感受性の高い性腺…男性では精巣、女性では卵巣の部分に埋没させていただきました。

【ポスター5】

その状況で、われわれが救急外来でぼんとオーダーするような Routine mode で、各CTを全身CT、頭部CT、胸部CT、腹部CT、腰部CT、腰椎CTというように用いて、通常のスカウトビュー（撮影範囲）をばーと撮って、そこで実際の撮影範囲を決めて、それぞれの Routine mode で決められたキロベクレルとミリアンペアに基づいて撮影をしております。

その後埋没した線量器を取り出して、このような線量計を測定する専用の装置で解析をしております。

また、低減効果の検証ですけれども、撮影範囲を最小限に制限することは、以前から言われておりましたが非常に大事なことです。例えば単純に「腹部CT」とオーダーすれば、放射線の技師さんが勝手に「大体この辺かな」と撮影しているところがあります。例えば私であれば、脊椎外科医なので、腰椎分離症のことについて詳しく調べたいということで、第5腰椎だけが見たいのであれば全部を撮る必要はありませんので「ここだけに制限して撮ってくださいよ」とオーダーを変更して撮ればどれくらいになるかということ。

あとは保護具を、例えばこれは preliminary に鉛のシートを水晶体とか甲状腺とか性腺に、ただ置いただけです。これはあくまでも予備的な実験ですので、置いただけでどれくらい効果があるのかということを検証しました。

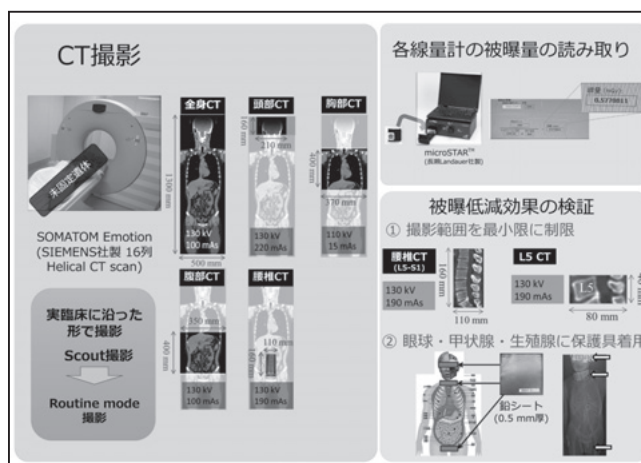
【ポスター6】

結果です。

実際にCTを撮影しますと、この線量計が適切な大脳、水晶体、甲状腺、そして肝臓の位置にきれいに埋没されていることが全例できちんと確認できております。

そして結果ですが、例えば全身のCTを1発ばーと撮れば、一律同じキロベクレルとミリアンペアでヘリカルでずっと回しているのですけれども、実際にはやはり各臓器で、かなり深度によって違いがあります。これは体表からの深度、深さの違いだけではなくて、腹部であるとかの中身が詰まった臓器の周囲というのは、それぞれ体内でどんどん散乱しますので、散乱線のせいで、例えばこのような深いところの小腸とか大腸であるとか性腺の

ポスター5



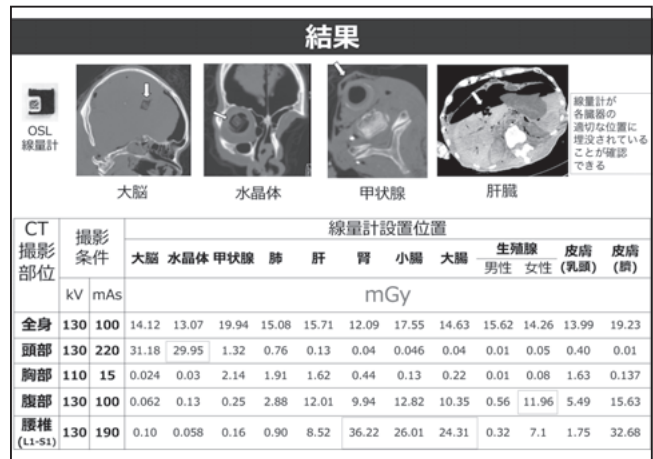
部分は非常に高くなっていることが分かりました。

そして頭部のCTであれば、当然、実際撮っている頭部のところは直接浴びていますので非常に高いし、すぐ脇の水晶体も非常に高い線量を浴びていることが分かりますが、それ以外全く撮影をしていない場所でもかなりの部分が散乱線を浴びていることが分かっています。

一方胸部の撮影では、元々中がすかすかの空気が入っている肺がメインでありますので、ミリアンペア数が非常に少ないモードで撮ることができますから、実際には被曝量はそんなに大きなものではないということが分かっています。

先ほど示したように腹部とか腰椎ですとか深部を撮影するモードでは、非常に高い電流と電圧が流れておりますので、非常に高い線量を内臓器で浴びている。特に腹部CTでは女性の性腺（卵巣）では非常に高い線量を浴びていることが分かりました。

ポスター 6

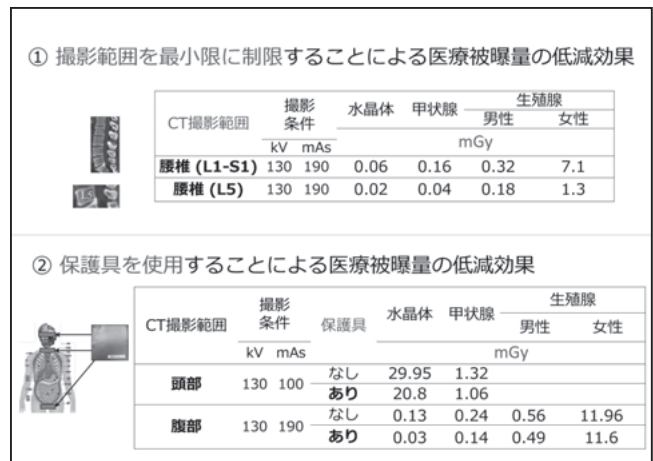


【ポスター7】

そして撮影範囲を最小限に制限することによってどれくらい低減することができるかという低減効果の検証では、①で腰椎全体…第1腰椎から第5腰椎までを撮ったものと第5腰椎だけの撮影モードで示しておりますが、やはり撮影範囲を絞ることによって、全然、撮影範囲と関係ないところ…水晶体であるとか甲状腺であるとか、そういったところでも低減効果は十分にあるということが分かりました。

また、②は保護具を使用したものです。あくまでも簡易的なもので、実際CTは全周囲性に360度当たっていますので、表面に置いただけでは正確なデータではありませんけれども、頭部の撮影モード、腹部の撮影モードでもそれぞれ、例え体表面に置くだけでもかなり低減効果があるということが分かりました。

ポスター 7



【ポスター8】

考察ですけれども、これまで研究が進んでいるところでは、遺伝的な影響であるとか癌とか白血病であるとか確率的な影響というものはしきい値が存在せずに、例え少量の被曝

でも影響が出てくる可能性があるというものです。

一方、確定的な影響ですが、ある一定の線量以上で、脱毛であったり、不妊であったり、白内障であったりという確率的な影響と確定的な影響があります。しかし実際にはこの確率的な影響というのはまだ全然分かっていないところで、例えば少量の被曝量でも発癌とかの影響は十分にありということが分かっております。つまり医療被曝には線量限度というのは、今のところ存在していません。線量限度を設定すると得られる利益（診断とか治療）が損なわれる可能性があるという考え方に基づいて、「この線量以上は浴びてはダメですよ」という線量限度は患者さんサイドでは全然ないので、実際には、われわれの診療での判断一つでとてもたくさん浴びてしまう患者さんがいるということが分かります。

国際放射線防護委員会では、この3原則…正当化、最適化、線量限度というのを設けて、被曝による利益が被曝による損害を必ず上回っていないと駄目だという正当化、可能な限り低く抑えられているという最適化、そして、やはり設けなければいけない超えてはならない線量限度、ということを言われています。

【ポスター9】

本研究は、各種のCT撮影による人体の各臓器への医療被曝量を正確に測定した初めての報告であります。

CT撮影の直接線だけではなく、散乱線の被曝量も決して少なくはありません。

最小限に制限することによって、また保護具を着用することによって、共に高い低減効果を示しました。

医療被曝を常に念頭において、われわれはCTをオーダーして、臨床に用いるべきだと考えました。

ポスター 8

放射線

- 遺伝的影響
 - 突然変異
 - 染色体異常
 - 確率的影響
- 身体的影響
 - 晩発影響
 - 白血病
 - がん
 - 確率的影響
 - 早発影響
 - 脱毛・皮膚紅斑
 - 出血・白血球減少
 - 放射線嘔吐
 - 白内障
 - 不妊
 - 確定的影響

しきい値が存在せず少量の被曝でも影響が出現する確率が上昇する

組織・臓器	影響	被曝線量(mSv)
生殖腺(男)	一時不妊	150
	永久不妊	3500-6000
生殖腺(女)	一時不妊	650-1500
	永久不妊	2500-6000
水晶体	白内障	2000-10000
	遮光能低下	500
骨髄	造血能低下	100
	免疫異常	100
胎児	形態異常	100
	精神発達障害	120

国際放射線防護委員会 (ICRP) 勧告における防護体系3原則

正当化 被曝による利益 被曝による損害

最適化 被曝する可能性・被曝量は合理的にできる限り低く抑えられている ALARA (as low as reasonably achievable)

線量限度 超えてはならない被曝量

医療被曝には線量限度は存在しない!
「線量限度を設定すると、得られる利益(診断・治療)が損なわれる可能性がある」という考え方

ポスター 9

結語

- ✓各種CT撮影による人体の各臓器への医療被曝量を正確に測定した初の報告である
- ✓CT撮影範囲の直接線だけではなく、撮影範囲外の散乱線による被曝量も少なくない
- ✓① CT撮影範囲を最小限に制限すること
② 保護具を使用することは共に高い医療被曝量低減効果を示した
- ✓CT撮影時は医療被曝を常に念頭におき正当化・最適化に十分配慮するべきである

質疑応答

座長： 先行研究はあまりない無いのですか。こういうのはやられているのではないかなと勝手に推察したのですが、以前の文献はあまりない無いのですか。

山下： ファントムを用いた研究や、理論値を求めるといった研究はありましたが、正確に実測したという研究はありませんでした。

座長： 動物などではどうですか。

山下： 動物ではあります。

座長： 人体では初めてですか。

山下： 人体では倫理的な問題でやはりできません。ホルマリン固定されたご遺体ではあるのですが、そこが肝で、ホルマリン固定されてしまうと組成が全く変わってしまいますので、データとして間違っている。こちらは、すごく研究が進んでいます。ところがやはり仮想のデータしかない。

座長： それがこの研究のものすごく新しいところですよ。
(会場に向かって) どうですか、何か質問はありませんか。被曝の問題だと、循環器内科の先生などで質問があるのでは？

会場： 循環器内科医です。貴重な発表をありがとうございました。大変勉強になりました。これはCTを線量で見ているんですけど、私たちはよくカテーテルを毎日のようにやっています、かなり被曝しているのですけれども、そういう動的な評価というのはされていますでしょうか。あるいは、今後何かされる予定はありますか。

山下： 先生がおっしゃるのはエックス線透視ということですか。

会場： そうですね。はい。

山下： もう既にやっています。エックス線透視では、特に循環器科の先生とインターベンションされる放射線科の先生で、自らが非常に長い時間浴びているということが分かっていらっしゃる先生は意外と防護もしっかり…白内障の予防とかもされています。

僕が一番気になったのは、われわれは整形外科なので、特に自分の手が非常に浴びているということが分かっていました。そこらが気になって自分の手と、あと

は患者さんです。実際にFresh cadaverを用いさせてもらったのですが、患者さんに透視で当たった後の跳ね返ってくる散乱線を水晶体であるとか甲状腺であるとか、そのような辺りでどれぐらい実際浴びているかという研究は、先行研究で実際にやらせていただきました。

座長： これは自分の身に染みる話ですね。